

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2860695号

(45)発行日 平成11年(1999) 2月24日

(24)登録日 平成10年(1998)12月11日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 31/10

H 0 1 L 31/10

A

請求項の数2 (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平2-149292
(22)出願日 平成2年(1990) 6月7日
(65)公開番号 特開平4-44278
(43)公開日 平成4年(1992) 2月14日
審査請求日 平成9年(1997) 5月16日

(73)特許権者 999999999
光計測技術開発株式会社
東京都武蔵野市中町2丁目11番13号
(72)発明者 和田 守夫
東京都武蔵野市中町2丁目11番13号 光
計測技術開発株式会社内
(74)代理人 弁理士 井出 直孝

審査官 小原 博生

(56)参考文献 特開 昭53-58791 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁶, D B名)
H01L 31/10

(54)【発明の名称】 受光素子

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 InP基板に格子定数を実質的に一致させて形成された光吸収層と、この光吸収層の前記基板と反対側に設けられた入射光を透過するInP窓層とを備えた受光素子において、前記窓層は不純物としてAsを含み、その格子定数が前記基板の格子定数より大きく形成されたことを特徴とする受光素子。

【請求項2】 窓層に含まれるAsの量は0.1～1重量%である請求項1記載の受光素子。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

本発明はInP/InGaAs/InPヘテロ接合を用いた受光素子に利用する。特に、分光感度特性の改善に関する。

2

【概 要】

本発明は、InP/InGaAsP/InPヘテロ接合を用いた受光素子において、

受光側のInP窓層にAsを微量に添加してその格子定数を大きくすることにより、

InP窓層の吸収を減らして受光素子の分光感度を高めるものである。

【従来の技術】

従来から、近赤外など波長の比較的長い光を受光するためには、特殊な場合を除き、ゲルマニウムGeやガリウム・インジウム・ヒ素リンGaInAsPを材料とする受光素子が用いられてきた。特にGa_xIn_{1-x}As_yP_{1-y} (ただしx、yは混晶比)は、その混晶比を適当に選択することにより、格子定数がInP結晶に一致するようにして、バンドギャップエネルギーを変化させることができる。これ

3

により、ほぼ $1 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の波長帯域において、必要な分光感度波長帯域の光吸収層を InP 結晶基板上にエピタキシャル成長させることができる。

さらに $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ 光吸収層上に InP 窓層（「キャップ層」ともいう）を形成した受光素子も公知である。また最近では、暗電流、周波数応答特性、増倍雑音特性などの電気的特性や約 $1.5 \mu\text{m}$ より長波長側の分光感度特性の点で、Ge 受光素子より優れた GaInAsP 受光素子が製造されている。詳しくは、酒井士郎他共著、電子通信学会論文誌、第 J62-C 巻、第 10 号、'79/10 に示されている。

$\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ のうち特に混晶比が $x = 0.47$ 、 $y = 1$ のもの、すなわち $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ は、格子定数が InP に一致するもののうちバンドギャップエネルギーが室温で 0.75eV と最も小さい。このようなバンドギャップエネルギーの小さい材料は、光吸収層として用いたとき、長波長側に分光感度特性をもつことができる。 $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ の場合には、InP 窓層を設けた受光素子で約 $0.9 \sim 1.7 \mu\text{m}$ の分光感度波長が得られている。短波長側（ $< 1 \mu\text{m}$ ）の分光感度低下は InP 窓層の光吸収によるものである。

第 8 図は $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 光吸収層と InP 窓層とを用いた PIN ホトダイオードの分光感度特性の理論計算値を示す。

この特性は、伊藤良一監修、「化合物半導体デバイスハンドブック」、昭和 31 年 9 月 20 日、サイエンスフォーラム社刊に示された理論計算方法により求めたものであり、InP 窓層の厚さを $1 \mu\text{m}$ とし、受光面には第 9 図に示した透過率対波長特性をもつ反射防止膜が設けられたものとした。この特性は、InP 窓層を基板とし、 SiO_2 と Si_3N_4 との二層反射防止膜が設けられているものとして求めたものである。

第 10 図に分光感度特性の一例を示す。横軸は波長であり、縦軸は外部量子効率を示す。外部量子効率の値は、 SiO_2 膜、 Si_3N_4 膜および InP 窓層の厚さをそれぞれ $0.14 \mu\text{m}$ 、 $0.13 \mu\text{m}$ 、 $0.9 \mu\text{m}$ とし、GaInAs 光吸収層の厚さを $1.3 \mu\text{m}$ としたときの測定値および計算値を示す。実線が測定値であり、破線が計算値である。この計算値は、上述した酒井等の論文に示されている。外部量子効率 η_{ext} は、

$$\eta_{\text{ext}} = \text{分光感度} / \text{絶対分光感度}$$

により求められ、理論計算値とほぼ一致する（M. Wada, S. Seko, K. Sakakibara and Y. Sekiguchi: Jpn. J. Appl. Phys., 29 (3) (1990)）。

〔発明が解決しようとする課題〕

しかし、波長約 $0.9 \mu\text{m}$ 以下の分光感度は InP 層の光吸収が大きいため急激に低下する。この分光感度の低下は、上述した化合物半導体デバイスハンドブックにも示されているように、InP 層を窓層とするアバランシェホトダイオードの場合も同様に生じる。

4

これに対し、InP 窓層を薄くすることによって光吸収を減らし、この問題を解決しようとするものもある（例えば、S. Kagawa, K. Inoue, I. Ogawa, Y. Takada and T. Shibata: Jpn. J. Appl. Phys., 28 (10) (1990) p. 1843）。

本発明は、InP 窓層そのものの光吸収が削減された受光素子を提供することを目的とする。

〔課題を解決するための手段〕

本発明の受光素子は、InP 窓層が不純物として As を含み、その格子定数が InP 基板の格子定数より大きく、例えば約 $0.1\% \sim$ 数% 程度大きく形成されたことを特徴とする。

窓層に含まれる As の量は $0.1 \sim 1$ 重量% であることが望ましい。

窓層の As 量を増やして格子定数の差が大きくなる場合には、格子不整合に起因する欠陥が発生しない臨界膜厚以下に窓層の厚さを設定する。臨界膜厚についてはマッシュューズ等により示されている（J. W. Matthews and E. Klotz: Mater. Res. Bull. 7 (1972) 213, J. W. Matthews: J. Vac. Sci. Tech. 12 (1975) 126, J. W. Matthews and A. E. Blakeslee: J. Crystal Growth 32 (1976) 265）。

〔作 用〕

InP/InGaAsP ヘテロ接合を用いた受光素子の InP 窓層に微量の As を添加し、格子の定数を少し大きくしてエピタキシャル成長させ、InP 窓層の成長方向と垂直に 2 軸性の剪断圧縮応力が働くようにする。

このとき、InP 窓層の軽い正孔と重い正孔の価電子帯の縮退が解けて価電子帯がシフトし、軽い正孔の価電子帯が重い正孔の価電子帯より光の吸収に大きく寄与するようになる。吸収係数は価電子帯の有効状態密度に関係し、正孔の質量が小さいほど吸収係数も小さくなる。

したがって、InP 窓層に As を添加して格子定数を少し大きくすることにより、InP 窓層の吸収端波長より短波長領域に対する分光感度が、従来の受光素子のものより高くなる。

〔実施例〕

第 1 図は本発明実施例の受光素子の断面図である。

この素子は、InP 基板 1 に格子定数を実質的に一致させて形成された光吸収層 3 と、この光吸収層 3 の基板 1 とは反対側に設けられた入射光を透過する InP 窓層 4 とを備える。ここで本実施例の特徴とするところは、窓層 4 は不純物として As を含み、その格子定数が基板 1 の格子定数より大きく形成されたことにある。

n^+ 型 InP 基板 1 上には、 n^+ または n 型の InP バッファ層 2、 n -GaInAs 光吸収層 3 および不純物として As を含む InP 窓層 4 がエピタキシャルに形成される。窓層 4 から光吸収層 3 にかけては、Zn 拡散により p^+ 領域 5 が形成される。 p^+ 領域 5 の表面には電極 6 が設けられ、基板 1 の裏面には電極 7 が設けられる。電極 6 側の面は、電極 6 以外の部分が Si_3N_4 膜 8 および SiO_2 膜 9 の二層構造の反射

5

防止膜により覆われる。

窓層4は有機金属気相成長法(MOCVD)により形成され、0.1~1%のAsを含む。

第2図は窓層4、光吸収層3、バッファ層2および基板1からなるInP(As)/InGaAs/InPのヘテロ構造ウェハのX線回折像(X線ロッキングカーブ、XRC)を示す。バッファ層2、光吸収層3および窓層4の厚さは、それぞれ0.35μm、1.4μm、0.7μmとした。

このX線回折から求められた歪がある状態における格子不整合率は、基板1に対して光吸収層3は約-0.03%、窓層4は0.05~0.08%である。したがって、窓層4の格子定数は基板1より大きく、窓層4には成長方向と垂直な方向に2軸性の剪断圧縮応力が働いている。

このようなヘテロ構造ウェハに、SiO₂をマスクとして選択Zn拡散を行うことによりp⁺領域5を形成し、さらに、電極6およびSi₃N₄膜8とSiO₂膜9とからなる反射防止膜を形成し、さらに基板1の裏面に電極7を形成することにより、第1図に示した構造が得られる。Si₃N₄膜8とSiO₂膜9の厚さについては、例えば、上述の寸法に対して波長1.5μmにおける基板1上での反射率が最小になるように、それぞれ130nm、140nmとする。

第3図は剪断圧縮応力の発生原理を示す図である。格子定数αの基板31上に、同図(a)に示すように、歪のない状態における格子定数がα' > αの材料32をエピタキシャル成長させる。このとき基板31と材料32との境界面では、同図(b)に示すように、その面内の格子定数をαに保とうとする。このため、材料32に剪断圧縮応力が生じる。

第4図は、InPにAsを添加したときの格子定数の変化の一例について、格子不整合や歪がある場合のXRCで測定される格子不整合の大きさにより表す。この図はウェストフェーレン等により示されたものであり(R. Westpharen, H. Jurgensen and P. Balk, J. Crystal Growth, 96 (1989) 982)、横軸にInPの結晶成長時におけるAsH₃の分圧を示し、縦軸に弾性歪εおよびAs添加量(重量%)を示している。弾性歪εは、[(歪がないときのAs添加InPの組成で決定される格子定数) - (InPの格子定数)] / [(InPの格子定数)] で表され、第4図の右側の縦軸に示したAs添加量に比例する。

第5図(a)、(b)は歪によるエネルギーバンド構造の変化を示す図であり、同図(a)は歪がないとき、同図(b)は圧縮応力が働くときのバンド構造を示す。

As添加により格子不整合を生じさせると、Asが添加された層に2軸性の圧縮応力が働き、軽い正孔と重い正孔の価電子帯の縮退が解け、エネルギーレベルがシフトする。軽い正孔の価電子帯のエネルギーシフト量は、クオ等が示したように(C. P. Kuo, S. K. Vong, R. N. Cohen and G. B. Stringfellow, J. Appl. Phys. 57 (12) (1985) 5428)、

$$\Delta E_{LH} = [-2a(C_{11} - C_{12})/C_{11}]$$

6

$$+ b(C_{11} + 2C_{12})/C_{11}] \epsilon$$

で与えられる。ここで、C_{ij}はAs添加InPの弾性率、aは静水圧変形ポテンシャル、bは剪断変形ポテンシャルである。

この一方で、光の吸収係数は軽い正孔質量に大きな影響を受ける。

光の吸収係数αは、価電子帯の有効状態密度に比例し、この有効状態密度は価電子帯の重い正孔と軽い正孔とのそれぞれの有効質量m_{hh}、m_{lh}により変化する(H. C. Casey Jr. and M. B. Panish, "Heterostructure Lasers", Part A, Ch. 4, p. 206, Academic Press, New York, 1978)。特に、圧縮応力の歪によって軽い正孔の有効価電子帯がシフトし、エネルギーバンド構造が変化すると、軽い正孔の価電子帯の有効状態密度が変化し、吸収係数が小さくなる。

InPの場合は、軽い正孔と重い正孔のそれぞれの有効質量が、

$$m_{hh} = 0.6 \sim 0.85m_0$$

$$m_{lh} = 0.089 \sim 0.12m_0$$

m₀: 自由電子の質量

であり(S. Adachi, J. Appl. Phys. 53 (12) (1982) 8775, J. Leotin et al., Solid State Communication 15 (1975) 693)、大きさがほぼ1桁異なる。このため、吸収係数も大きく変化する。

第6図および第7図に、第1図に示した構造の受光素子の外部量子効率を示す。第6図は受光素子の分光感度を測定して外部量子効率を計算した結果を示し、第7図は酒井等の論文およびワダ等の論文による計算方法で求めた計算結果を示す。このときの吸収係数αは、直接遷移に対して、

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g)$$

$$A \approx \frac{q^2(2m_r)^{3/2}}{nc h^2 m_e}$$

$$1/m_r = 1/m_{dc} + 1/m_{dv}$$

λ : 入射光波数

h : プランク定数

E_g : As添加InP窓層4のバンドギャップエネルギー

q : 電子の電荷量

n : 屈折率

m_e : 電子の有効質量、m_e = 0.08m₀

m_{dc} : 伝導電子帯の状態密度有効質量

m_{dv} : 価電子帯の状態密度有効質量

c : 光の速度

で近似できる。伝導帯の底と価電子帯の上端とは、エネルギーバンド構造の波数ベクトルk = (0,0,0)にあるので、

$$m_{dv} = (m_{hh}^{3/2} + m_{lh}^{3/2})^{2/3}$$

7

$$m_{dc} = m_e$$

となる。したがって、圧縮応力が働いて m_{dv} に軽い正孔の有効質量のみが関与するようになると、歪がない場合に比べて A の値が約1/2の大きくなり、光の吸収係数も半分になる。窓層4の膜厚を t とすると、強度 I_0 の入射光が窓層4で減衰して光吸収層3に到達するときの光の強度 I は、よく知られた関係式

$$I = I_0 \exp(-\alpha t)$$

であるから、同じ膜厚の窓層でも、それにより減衰する光強度が40%程度小さくなり、受光素子の分光感度、すなわち量子効率が向上する。

第6図、第7図にそれぞれ示した測定結果と計算結果とを比較すると、軽い正孔の価電子帯がAs添加InP窓層4の光吸収に大きく寄与し、分光感度を高めることが可能であることがわかる。

以上の実施例では、PINホトダイオードに本発明を実施した場合について説明したが、InP窓層を使用するのであれば、どのような構造の受光素子でも本発明を同様の実施できる。例えば、アバランシェ・ホトダイオードにも本発明を実施できる。

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の受光素子は、InP窓層にAsを微量に添加し、格子定数をInPより大きくし、圧縮応力が内部歪として働くようにする。これにより、窓層の吸収が減少し、窓層の吸収帯域での分光感度を高めることができる。

20

*

8

* 本発明の受光素子を製造するには、従来からの製造方法に加えて、窓層にAsを添加するだけでよい。したがって、製造が容易である。

このように、本発明の受光素子は、構成が簡単で製造が容易であり、分光感度波長帯域を $0.9\mu\text{m}$ 以下の短波長側に延長する場合などに、InP層を薄くして光吸収を減らす場合と同様の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

第1図は本発明実施例の受光素子の断面図。

第2図はInP(As)/InGaAs/InPのヘテロ構造ウェハのX線回折像を示す図。

第3図は剪断圧縮応力の発生原理を示す図。

第4図は、InPにAsを添加したときの格子定数の変化の一例を示す図。

第5図は歪によるエネルギーバンド構造の変化を示す図。

第6図は外部量子効率の測定結果を示す図。

第7図は外部量子効率の計算結果を示す図。

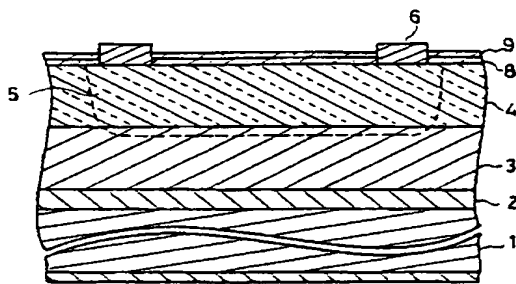
第8図は $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 光吸収層とInP窓層とを用いた従来のPINホトダイオードの分光感度特性の理論計算値を示す図。

第9図は反射防止膜の透過率対波長特性を示す図。

第10図はキャップ層がある場合の従来の分光感度特性の一例を示す図。

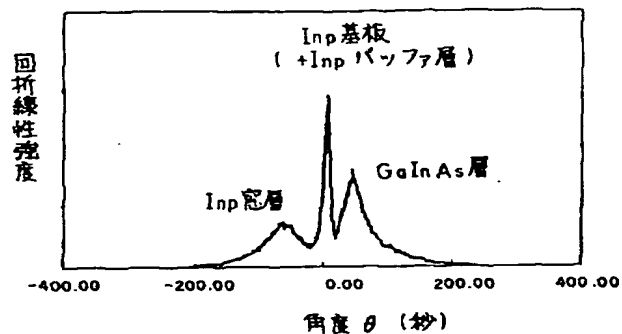
1……基板、2……バッファ層、3……光吸収層、4……窓層、5…… p^+ 領域、6、7……電極、8…… Si_3N_4 膜、9…… SiO_2 膜。

【第1図】

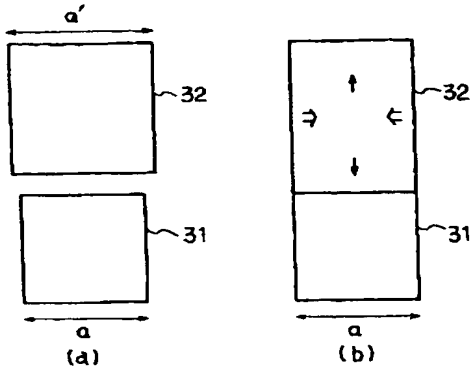


実施例

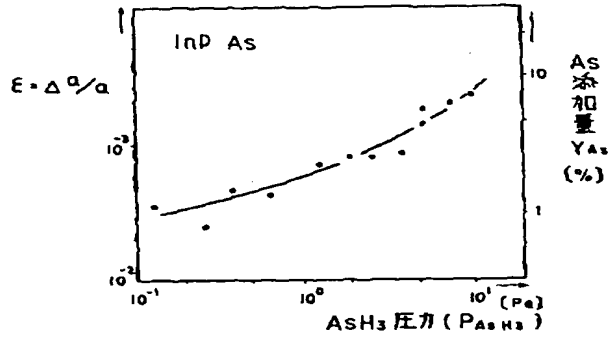
【第2図】



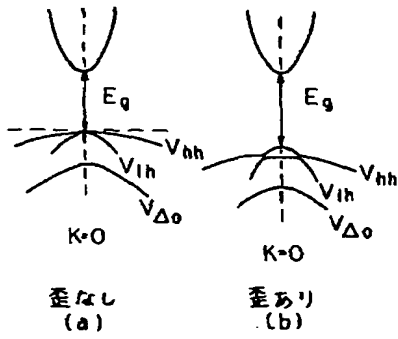
【第3図】



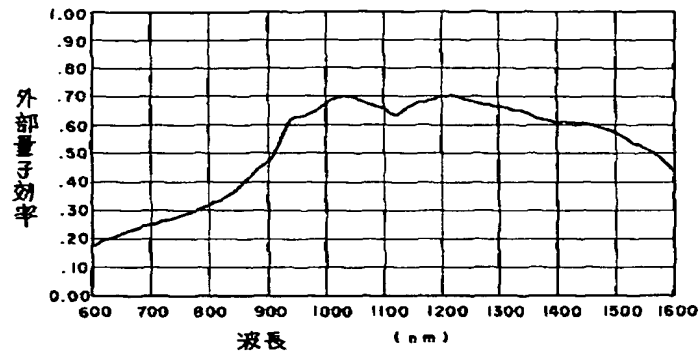
【第4図】



【第5図】

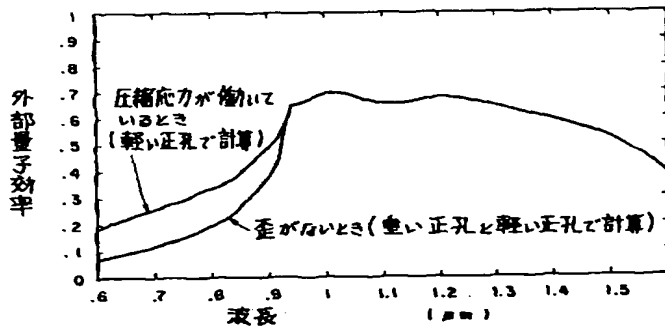


【第6図】



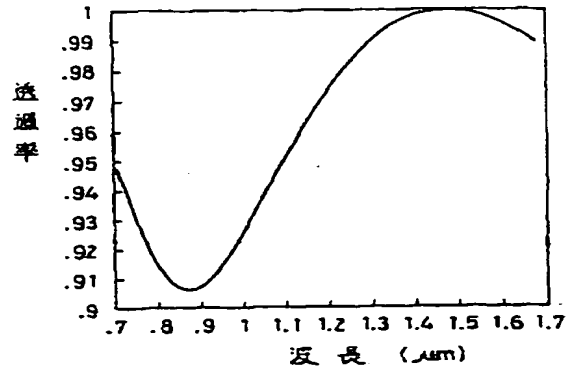
測定値

【第7図】

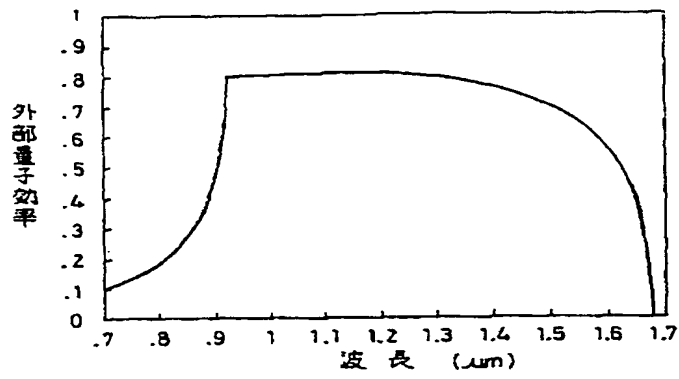


計算値

【第9図】



【第8図】



【第10図】

